

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 385 363**

51 Int. Cl.:  
**A01K 63/04** (2006.01)  
**C02F 1/20** (2006.01)  
**C02F 3/22** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07788832 .9**  
96 Fecha de presentación: **04.06.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2040537**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **01.04.2009**

54 Título: **Procedimiento e instalación de tratamiento de un efluente acuoso, con vistas a extraer del mismo por lo menos un compuesto gaseoso disuelto, aplicación para la acuicultura en medio acuoso recirculado**

30 Prioridad:  
**13.07.2006 US 830343 P**  
**29.03.2007 FR 0702308**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**23.07.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**23.07.2012**

73 Titular/es:  
**INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES  
APPLIQUEES  
20 AVENUE ALBERT EINSTEIN BÂTIMENT 209  
F-69100 VILLEURBANNE, FR y  
INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE POUR  
L'EXPLOITATION DE LA MER (IFREMER)**

72 Inventor/es:  
**RENE, François;  
LEMARIE, Gilles;  
CHAMPAGNE, Jean-Yves y  
MOREL, Robert**

74 Agente/Representante:  
**Curell Aguilá, Mireia**

ES 2 385 363 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento e instalación de tratamiento de un efluente acuoso, con vistas a extraer del mismo por lo menos un compuesto gaseoso disuelto, aplicación para la acuicultura en medio acuoso recirculado.

5 De manera general, la invención se refiere al tratamiento de un efluente acuoso, que comprende uno o varios compuestos gaseoso disueltos, por ejemplo dióxido de carbono y/o nitrógeno, con vistas a separar la totalidad o parte de dichos compuestos, considerados por ejemplo como contaminantes, con el fin de obtener una fase acuosa tratada, empobrecida en dicho o en dichos compuestos gaseosos, o en cualquier caso cuya concentración en estos últimos se encuentre así controlada o dominada, por ejemplo por debajo o por encima de un umbral predeterminado.

De manera particular, pero a título de ejemplo, el tratamiento considerado por la presente invención forma parte de cualquier procedimiento de cultivo de un organismo vivo, por ejemplo acuicultura, en medio acuoso recirculado, según el cual, de manera general:

- 15 - se dispone de un baño del medio acuoso, a cielo abierto o no, fraccionado o no en circuitos elementales en serie o en paralelo, en el que está sumergido el organismo vivo de cultivo, por ejemplo peces,
- 20 - se extrae del baño una corriente efluente a partir de la cual se obtiene el efluente acuoso a tratar para controlar su carga en compuestos gaseosos disueltos,
- se alimenta o se reinyecta en el mismo baño una corriente de alimentación, obtenida a partir de la fase acuosa tratada, es decir empobrecida en compuestos gaseosos disueltos.

25 Por "organismo vivo" se entiende tanto unos organismos vivos del reino inferior, tales como microorganismos, algas, etc., como unos organismos vivos del reino superior, tales como peces, moluscos o mariscos.

Para la exposición de la presente invención, esta última se introducirá, explicitará y comentará haciendo referencia a la acuicultura en medio acuoso recirculado.

30 En las condiciones de una acuicultura en medio acuoso recirculado, para favorecer el crecimiento y el buen estado sanitario de los peces, se sabe hoy en día que es esencial dominar la concentración en gases disueltos, a saber mantener:

- 35 - el oxígeno disuelto por debajo de un cierto umbral,
- el gas carbónico y el nitrógeno disuelto.

Para empobrecer asimismo el efluente acuoso de acuicultura en por lo menos un compuesto gaseoso disuelto, por ejemplo un gas carbónico disuelto, se utiliza una columna denominada ventilada, que consiste esencialmente en una columna llena con un relleno que consiste en elementos discretos que favorecen una interfaz (o dioptra) gas/líquido de gran superficie desarrollada según la sección y la altura de la columna. El efluente gaseoso a tratar se introduce y se distribuye en lo alto de la columna, por encima del relleno, por ejemplo mediante aspersión, mientras que una fase gaseosa de elución o "stripping", menos rica en dicho compuesto gaseoso (gas carbónico) que el efluente acuoso, por ejemplo aire a presión, se introduce en la parte baja de la columna, por ejemplo en el seno del relleno. Una corriente líquida que constituye la fase acuosa tratada es extraída al pie de la columna, y una corriente gaseosa efluente, enriquecida en dicho compuesto gaseoso disuelto se extrae en la parte alta de la columna.

Mediante la expresión "menos rico en dicho compuesto gaseoso" se entiende que, en igualdad de condiciones (incluido la presión), la concentración en dicho compuesto gaseoso en la fase acuosa que estaría en equilibrio con la concentración en dicho compuesto gaseoso en la fase gaseosa es más baja que la concentración efectiva en dicho compuesto gaseoso en la fase acuosa tratada. Esencialmente, utilizar una columna ventilada equivale a hacer circular agua a través de una fase gaseosa, en este caso aire, *grosso modo* en una relación de diez volúmenes de aire a contracorriente por un volumen de agua tratado.

55 La utilización de estas columnas ventiladas, parecidas a unas torres aero-refrigeradas, adolece de diversos inconvenientes.

Su rendimiento de extracción en gas disuelto es limitado. Al tratarse del gas carbónico, por ejemplo, no parece posible extraer más de 25 a 30% del gas carbónico disuelto. Esto se debe a la superficie desarrollada limitada de la interfaz gas/líquido, la cual se encuentra también disminuida por el desarrollo de biopelículas en el relleno de la columna, por un lado, y por unos taponamientos y encaminamientos preferenciales del agua en el relleno, por otro lado.

65 Cualquier columna ventilada es asimismo relativamente consumidora de energía, en cuanto a su funcionamiento, ya que se necesita en particular bombear el efluente acuoso a tratar para elevarlo hasta el nivel alto de la columna.

Al tratarse del mantenimiento en temperatura de la fase acuosa tratada de salida, con respecto al efluente acuoso de entrada, lo cual puede tener importancia en un procedimiento de acuicultura en medio acuoso recirculado, la utilización de una columna ventilada es, por naturaleza, disipadora de energía térmica, lo cual obliga en algunos caso a calentar la fase acuosa tratada a la salida de la columna ventilada.

5 Cualquier columna ventilada representa un recinto de volumen no despreciable teniendo en cuenta el volumen de aire (fase gaseosa circulante), lo cual conduce a una instalación relativamente voluminosa, pudiendo representar una inversión en material e infraestructura no despreciable.

10 Y, desde un punto de vista de la seguridad biológica, al igual que las torres aero-refrigeradas, la utilización de una columna ventilada puede generar unos aerosoles susceptibles de entrar en contacto con la atmósfera del entorno, teniendo en cuenta la sobrepresión existente en la columna ventilada.

15 La presente invención tiene por objeto evitar los inconvenientes citados anteriormente de las columnas ventiladas.

Para oxigenar un medio acuoso, incluido en acuicultura, se conocen los sistemas gaso-sifones o "air-lift", los cuales en la práctica revisten diferentes formas de realización. De manera general, un gaso-sifón consiste, mediante cualquier medio apropiado, por ejemplo un conducto vertical sumergido por lo menos en parte en un baño de medio acuoso, o un conducto dispuesto en el exterior del baño, en establecer una columna líquida ascendente.

20 Para ello, se inyecta y se distribuye en la columna, en la práctica en la parte baja del conducto vertical, una fase gaseosa a presión, la cual se reparte en la columna líquida en forma de burbujas cuyo volumen aumenta hacia arriba, mediante lo cual se obtiene por el lado alto del conducto vertical una corriente mixta líquido/gas, más o menos homogénea, la cual se evacua, por ejemplo, por el extremo alto del conducto vertical.

25 Un gaso-sifón parece ser por lo tanto un sistema dinámico, pero sin piezas mecánicas del tipo bomba, que permite elevar, en una cierta altura, un líquido, mediante la utilización de burbujas más o menos grandes, obtenidas mediante inyección y distribución de un gas a presión en un líquido confinado según una columna vertical.

30 Dichos sistemas son bien conocidos, y han sido modelizados por diferentes autores; véase D. J. REINEMANN y M. B. TIMMONS, *Aquacultural Engineering* 8 (1989), 29-46.

35 En acuicultura, dichos sistemas se utilizan ampliamente para oxigenar el baño del medio acuoso, en el que se crían los peces, en el mismo seno de dicho baño, o en el exterior de este último, para un medio acuoso recirculado, inyectando y distribuyendo aire atmosférico bajo presión.

Cualquier gaso-sifón es susceptible no sólo de oxigenar un efluente acuoso tratado por medio de éste, cuando la fase acuosa inyectada y distribuida es aire u oxígeno, sino también de desgasificar este mismo efluente acuoso en compuestos gaseosos disueltos, tales como el gas carbónico, lo cual han establecido y estudiado diferentes autores; véase J CLAY LOYLESS y R. F. MALONE, *Aquacultural Engeneering* 18 (1998) 117-133. Por consiguiente, cualquier gaso-sifón tiene la capacidad de eluir o "stripper" los compuestos gaseosos disueltos de un efluente acuoso que los contiene, con la condición de utilizar una fase gaseosa de gaso-sifón apropiada, es decir menos rica en dicho compuesto gaseoso que el efluente acuoso tratado.

45 De acuerdo con la publicación de A. RICHMOND, S. BOUSSIBA, A. VONSHAK y R. KOPEL, de *Journal of Applied Phycology* 5-327-332, 1993 y su figura 1, se ha descrito un procedimiento de acuicultura de micro-algas en medio acuoso recirculado, según el cual:

- 50 - se dispone de un baño del medio acuoso, en el que se cultivan las micro-algas, en la práctica contenido en unos haces de tubo dispuestos horizontalmente, con un distribuidor de entrada, y un colector de salida,
- se extrae del baño, mediante el colector de salida, una corriente efluente, enriquecida o saturada en oxígeno, que constituye el efluente tratado,
- 55 - este último se trata gracias a un gaso-sifón, tal como el descrito anteriormente, que trabaja bajo presión positiva. Con este fin, se establece una columna líquida ascendente del efluente acuoso tratado, se inyecta y se distribuye en esta columna, por el lado bajo, aire, repartiéndose esta fase gaseosa en la columna en forma de burbujas cuyo volumen aumenta hacia arriba, mediante lo cual se obtiene, por el lado alto, una corriente mixto líquido/gas,
- 60 - en un separador/desgasificador, se separa la corriente mixta líquido/gas en una corriente líquida que constituye la fase acuosa tratada, la cual está enriquecida en gas carbónico y reenviada hacia el distribuidor de entrada del baño, y una corriente gaseosa efluente enriquecida en oxígeno.

65 Dicho procedimiento de tratamiento presenta en la práctica un rendimiento de extracción en gas disuelto relativamente limitado.

Diferentes documentos han descrito por otra parte unos procedimientos de tratamiento de un efluente acuoso o de un medio acuoso, que utilizan un gaso-sifón con aire atmosférico inyectado bajo presión:

- 5 - C.E BOYD y C.S. TUCKER, en la obra "Pond aquaculture water quality management" páginas 354-373, de 1998, describen la utilización de un gaso-sifón en el seno de un baño del medio acuoso de acuicultura, a cielo abierto,
- 10 - el documento US-C-4.972.801 describe la utilización de un gaso-sifón en el seno de una perforación o pocillos de alimentación con agua de un estanque de acuicultura, que permite elevar el agua de alimentación para su distribución en el seno del estanque, por un lado, y oxigenar la corriente de agua de alimentación,
- 15 - los documentos US-C-5.961.831 y US-C-6.171.480 describen un sistema completo de acuicultura que comprende un gaso-sifón para elevar un efluente acuoso, extraído a la salida del baño de acuicultura, después de su filtración, y antes de su biofiltración. El documento EP 0 457 261 A1 describe un dispositivo de depuración de un agua subterránea cargada con contaminantes que se encuentra enterrado en el suelo y en el que se inyecta gas en la parte alta de dicho dispositivo.

La presente invención tiene por objeto una realización particular de un gaso-sifón, que permite evitar los inconvenientes de las columnas ventiladas.

20 La invención tiene por objetivo mejorar el rendimiento de extracción en gas disuelto de los gaso-sifones.

De manera general, la presente invención se refiere a un procedimiento de tratamiento de un efluente acuoso que comprende por lo menos un compuesto gaseoso disuelto, por ejemplo gas carbónico. El documento EP 0 457 261 A1 describe un dispositivo de depuración de un agua subterránea cargada con contaminantes que se encuentra enterrado en el suelo y en el que se inyecta gas en la parte alta de dicho dispositivo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12 y a una instalación para la realización de dicho procedimiento según la reivindicación 13.

El procedimiento según la presente invención funciona a la inversa del descrito en la publicación A. RICHMOND *et al.* porque permite, gracias a la depresión citada anteriormente, empobrecer la fase acuosa tratada en gas carbónico, enriqueciéndola al mismo tiempo en oxígeno disuelto.

Y más particularmente, pero de manera no limitativa, este procedimiento de tratamiento, de desgasificación o de desgaseado, se integra en un procedimiento de cultivo de un organismo vivo, en medio acuoso recirculado, según el cual:

- 35 - se dispone de un baño del medio acuoso, en el que se cultiva el organismo vivo,
- se extrae del baño una corriente de efluente, a partir de la cual se obtiene el efluente acuoso,
- 40 - y se alimenta el baño con una corriente de alimentación, obtenida a partir de la fase acuosa tratada,
- siendo la fase acuosa tratada obtenida fuera del baño del medio acuoso, mediante un tratamiento de desgaseado o de desgasificación tal como el definido anteriormente.

45 Por "subdepresión", tratándose de la separación de la corriente mixta líquido/gas, se entiende cualquier presión inferior al valor obtenido restando, por ejemplo en cm de agua, la altura de la columna líquida ascendente de la presión atmosférica, o presión hidráulica del efluente acuoso a tratar.

50 Preferentemente, el procedimiento según la invención se realiza a la manera de un sifón, y para ello la corriente líquida separada de la corriente gaseosa efluente constituye una columna líquida descendente, obtenida mediante vertido de la corriente mixta líquido/gas por encima de un punto alto. En tal caso, por ejemplo, la columna líquida descendente y la columna líquida ascendente son concéntricas una con respecto a la otra.

55 Con respecto a una desgasificación con una columna ventilada, el procedimiento de tratamiento según la invención aporta las ventajas esenciales siguientes:

- 60 - su funcionamiento consume poca energía, puesto que sólo se debe comprimir la fase gaseosa inyectada en la columna líquida, y bombear la corriente gaseosa efluente, para colocar la separación de la corriente mixta líquido/gas bajo depresión,
- 65 - su funcionamiento disipa poca energía térmica, puesto que su realización se puede cumplir en una instalación compacta y recogida, por ejemplo dos tubos concéntricos dispuestos uno en el otro,
- como ya se ha mencionado anteriormente, la instalación requerida para su funcionamiento sigue siendo relativamente simple y poco voluminosa,

- su funcionamiento sigue siendo seguro, desde un punto de vista biológico, puesto que está confinado, y mayoritariamente bajo depresión,
- y la corriente gaseosa efluente, después de la compresión, se puede condensar para recuperar la energía de condensación de los compuestos gaseosos extraídos.

El procedimiento de tratamiento según la invención se presta bien asimismo:

- para una reoxigenación de la fase acuosa tratada, mediante la inyección de oxígeno en la columna ascendente y/o la columna descendente,
- para una ozonización de la fase acuosa tratada, mediante inyección de ozono en la columna ascendente,
- y para una extracción de las partículas sólidas, a nivel de la corriente gaseosa efluente, cuando ésta se presenta en forma de espuma.

La presente invención se describirá ahora haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 representa, de manera esquemática, un equipamiento completo de acuicultura, en medio acuoso recirculado, en el que se coloca y se integra una instalación de tratamiento del efluente acuoso resultante en particular del metabolismo y del crecimiento de los organismos vivos criados, por ejemplo unos peces,
- la figura 2 representa, de manera esquemática, más particularmente la instalación de tratamiento del efluente acuoso de acuicultura,
- la figura 3 representa un montaje experimental que ha permitido probar la presente invención.

El equipamiento de acuicultura representado esquemáticamente en la figura 1 está organizado alrededor de un baño 13 del medio acuoso, en el que se cultiva o se cría el organismo vivo de interés, por ejemplo unos peces; este baño 13 está, por ejemplo, contenido en un estanque 14. A partir del baño 13, se extrae una corriente de efluente 15, que se filtra mecánicamente 27, y después se envía a una cuba tampón 28. A partir de dicha cuba tampón, se establece un bucle de recirculación 29, que permite convertir, por vía enzimática o bacteriana, el nitrógeno efluente, en particular amoniaco, en nitrito y nitrato. Para ello, se extrae de la cuba tampón 28 una corriente, eventualmente completada 33 con agua fresca, calentada en un intercambiador 30, esterilizada 31 mediante una radiación UV, y después filtrada por medio de un lecho bacteriano 32, y reenviada finalmente hacia la cuba 28. El efluente acuoso 16 a tratar según la invención se obtiene a partir de la cuba tampón 28.

La instalación de tratamiento según la invención, es decir para extraer o eliminar los gases disueltos 19, a saber el gas carbónico y en una cierta medida el nitrógeno, está representada esquemáticamente bajo la referencia numérica 1. Ésta recibe el efluente acuoso 16, y genera una fase acuosa tratada, es decir desgaseada, a partir de la cual se reintroduce una corriente de alimentación 17 en el baño 13. A su paso, en la instalación de tratamiento 1, el medio acuoso se encuentra agotado en gas disuelto, evacuados con la corriente gaseosa 19, bajo el efecto de la elución o "stripping" generada por la inyección en el medio de la fase gaseosa 10, en este caso aire, y por consiguiente menos rico en gas carbónico y/o nitrógeno. Una parte del efluente acuoso 16 introducida en la instalación de tratamiento 1 se puede obtener directamente a partir del baño 13, es decir sin pasar por el bucle de filtración bacteriano 29. Y, de manera tradicional, considerando el baño 13 como un medio cerrado, además de la corriente de alimentación 17 y la corriente efluente 15, éste recibe unos alimentos 34 para el crecimiento y el desarrollo de los organismos vivos cultivados, estos últimos son recogidos o extraídos regularmente del estanque 14, y se efectúa regularmente una purga en nitratos 35.

La instalación de tratamiento del efluente acuoso, representada en la figura 2 en asociación con el baño 13 de acuicultura, comprende esencialmente una columna denominada de depresión, constituida por lo menos por:

- dos tubos concéntricos, uno exterior 2 y el otro interior 3, dispuestos verticalmente, constituyendo un recinto tubular interno 4 para una columna líquida ascendente 6 o una columna líquida descendente 7, y un recinto tubular externo 5 para la columna descendente 7 o la columna ascendente 6; el tubo exterior 2 está cerrado 2a en su parte superior, por encima del extremo superior 3a abierto del tubo interior 3, de manera que el recinto externo 5 está cerrado y aislado con respecto al exterior,
- un medio de introducción 8 del efluente acuoso 16 a tratar, dispuesto al pie del recinto interno 4 o del recinto externo 5; un medio de evacuación 9 de la fase acuosa tratada al pie del recinto externo 5 o del recinto interno 4,
- un medio 10 de inyección y distribución de la fase gaseosa, en este caso aire bajo presión, en la columna ascendente 6, conectado a una fuente de dicha fase gaseosa bajo presión, no representada,
- un medio de evacuación 11 de la corriente gaseosa efluente, enriquecida en compuesto gaseoso previamente

disuelto en el efluente acuoso, conectado indirectamente a un medio de aspiración 12, que consiste en una bomba de aire.

5 Gracias a esta instalación, se puede tratar el efluente acuoso 16, que comprende el o los compuestos gaseosos disueltos, en este caso gas carbónico, separándolos por lo menos parcialmente del efluente, para obtener la fase acuosa tratada 17, empobrecida en estos compuestos.

Con referencia a la figura 2:

10 a) se establece una columna líquida ascendente 6 del efluente acuoso, en el recinto interno 4, inyectando y distribuyendo 10 en dicha columna, por el lado bajo, una fase gaseosa menos rica en compuestos citados anteriormente que el efluente acuoso, en este caso aire u oxígeno bajo presión, mediante lo cual esta fase gaseosa se reparte en esta columna en forma de burbujas (no representadas), cuyo volumen aumenta hacia arriba, mediante lo cual se obtiene, por el lado alto, una corriente mixta 18 líquido/gas más o menos homogénea,

15 b) se separa esta corriente mixta líquido/gas, en una corriente líquida 17, que constituye una columna líquida descendente 7 en el recinto externo 5, obtenida mediante vertido de dicha corriente mixta 18 por encima del borde o punto alto 3a del tubo interior 3, y en una corriente gaseosa 19 efluente, enriquecida en dicho compuesto gaseoso.

20 De acuerdo con la invención, en la parte superior del recinto externo 5, se establece un cielo gaseoso 20 entre la corriente líquida 17 y la corriente gaseosa 19, que corresponde a la separación de la corriente mixta 18 líquido/gas; y este cielo gaseoso se encuentra bajo depresión, teniendo en cuenta la aspiración por la bomba 12 de la corriente gaseosa 19.

25 Como consecuencia, la columna de depresión descrita anteriormente funciona como un sifón, tal como se representa en la figura 2, según la cual la columna líquida descendente 7 y la columna líquida ascendente 6 son concéntricas una con respecto a la otra, siendo la columna líquida ascendente 6 interior y siendo la columna líquida descendente 7 exterior, o a la inversa.

30 La instalación representada en la figura 2 presenta también las características siguientes, que se pueden considerar aisladamente o en combinación unas con otras.

35 El efluente acuoso 16 se introduce al pie de la columna ascendente 6 y la fase acuosa tratada es extraída al pie de la columna descendente 7, sustancialmente al mismo nivel.

40 Además del aire inyectado, se inyecta oxígeno 21 y se distribuye en la columna ascendente 6, a un nivel alto, en cualquier caso superior al nivel de introducción 10 de la fase gaseosa. Esta inyección de oxígeno permite, llegado el caso, completar la oxigenación del medio acuoso de acuicultura.

45 Llegado el caso, por ejemplo para esterilizar el medio acuoso, descomponer los ácidos húmicos, y restaurar el potencial redox del medio acuoso, se puede inyectar 22 ozono y distribuirlo en la columna descendente 7, a un nivel inferior al nivel de introducción 10 de la fase gaseosa.

Si es necesario, la sección de la columna líquida descendente 7 crece hacia abajo.

50 Generalmente, la corriente gaseosa efluente está en forma de espuma. Por consiguiente, se prevén unos medios tradicionales de desespumado 23, para obtener un exudado líquido 24, que puede comprender una fracción particulada, por ejemplo unas materias orgánicas en suspensión o en forma coloidal, y un efluente gaseoso 26 exento de fase líquida y de partículas sólidas. El exudado líquido 24 se evacua mediante una bomba 25. El efluente gaseoso 26 se bombea mediante la bomba 12, cuya aspiración está en relación con el cielo gaseoso 20 del recinto tubular externo 5.

Tal como lo muestra la figura 2:

55 - se extrae del baño de acuicultura 13 una corriente efluente 15, a partir de la cual se obtiene el efluente acuoso a tratar 16,

60 - y se alimenta el mismo baño 13 con una corriente de alimentación 17, obtenida a partir de, o idéntica a, la fase acuosa tratada, siendo esta última obtenida fuera del baño 13 a partir del efluente acuoso 16, de acuerdo con el procedimiento de tratamiento efectuado en la columna de depresión 1.

El nivel de extracción 13a del baño 13 es sustancialmente el mismo que el del pie de la columna líquida ascendente 6. Y el nivel de alimentación 13b del baño 13 está por encima del pie de la columna descendente 7.

65 La presente invención se describirá ahora, a título experimental, haciendo referencia al montaje experimental

ilustrado en la figura 3, y comentado como sigue:

- 51: bomba de vacío
- 52: oxigenador
- 53: depósito equivalente al baño 13 de acuicultura
- 1: columna de depresión
- 10: fase acuosa inyectada
- 54: recuperador o depósito tampón

10 1. El montaje experimental

1.1 Columna de depresión 1

15 La columna de depresión 1 está constituida por dos tubos 2, 3 de PVC concéntricos de 4,5 m de altura y de 25 cm de diámetro para el exterior 2 y de 4 m de altura y 16 cm de diámetro para el interior 3 formando un tubo en U. El principio de esta columna consiste en inyectar 10 aire en el tubo interior de manera que arrastre una corriente de agua 6 mediante "air-lift", y después en crear una depresión mediante aspiración de este aire en la parte alta 20 de la columna gracias a una bomba de vacío 12. Mientras que el aire 19 es aspirado en la parte alta de la columna, el agua arrastrada por "air-lift" volverá a descender 7 al tubo exterior 3. Con el fin de obtener un sistema mantenido en dinámica estable, se ha creado una aspiración ligeramente superior a la inyección. El agua excedente aspirada está atrapada en un depósito tampón 34 antes de la bomba 12 con el fin de protegerla. Esta agua está cargada en finas partículas que han sido arrastradas en la parte alta de la columna mediante gaso-sifón. El sistema permite por lo tanto observar la calidad del agua recuperada. La superficie desarrollada por las microburbujas del aire inyectado es de aproximadamente  $9 \text{ m}^2 \cdot \text{l}^{-1}$ . La columna funciona con una bomba 12 de 175 W para la aspiración. Para la inyección, el consumo energético varía según el volumen de aire que se desee inyectar. Éste no supera los 35 W.

1.2. El resto de la instalación

30 El depósito 53 tiene una capacidad en volumen de  $1,5 \text{ m}^3$ . El  $\text{CO}_2$  y el  $\text{O}_2$  son suministrados por unas botellas bajo presión. El depósito tampón 54 tiene una capacidad en volumen de aproximadamente 100 l. Una válvula situada en la parte baja permite vaciarlo al final del experimento. Esto se podría realizar fácilmente de manera automática si se desea funcionar en continuo. Para reoxigenar el agua, se hace circular una parte del caudal de salida de la columna en el oxigenador 52 en el que se inyecta  $\text{O}_2$  puro.

35 2. Experimento

2.1 Experimento de desgaseado del  $\text{CO}_2$

40 *2.1.1 Gaseado en  $\text{CO}_2$*

Para medir la eficacia de la columna de depresión para desgasear el  $\text{CO}_2$ , se ha fijado una cantidad de  $25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  ( $\pm 2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) de CO en el momento inicial ( $T_0 \text{ min}$ ). Para gasear con  $\text{CO}_2$ , se ha utilizado una botella de  $\text{CO}_2$  comprimido, que difunde el gas carbónico a través de un microburbujeador que permite facilitar la disolución del gas en el agua del depósito 53. Al final del experimento ( $T_{60} \text{ min}$ ) se ha medido la cantidad de  $\text{CO}_2$  restante.

45 *2.1.2 Experimentos sobre la columna de depresión con profundidad de inyección de aire variable*

Se han colocado unos microburbujeadores cerámicos en el tubo central 3 de la columna de depresión 1 a diferentes profundidades (1, 2, 3 y 4 m), de manera que se mida la influencia de la profundidad de inyección de aire sobre la eficacia del "air-lift" y del desgaseado de  $\text{CO}_2$ .

*2.1.3 Experimentos sobre la columna de depresión con caudal de agua y caudal de aire variables*

55 Para un caudal de aire fijo ( $0,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ ), se ha hecho variar el caudal de agua de  $0,3$  a  $3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  con la ayuda de una válvula para medir su influencia sobre la eficacia de desgaseado. Asimismo, para un caudal de agua fijo ( $2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ ) se ha hecho variar el caudal de aire inyectado de  $0,03$  a  $0,55 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  utilizando una válvula.

2.2 Dimensionamiento de la función de bomba de la columna de depresión

60 Para evaluar la eficacia de la función bomba, se ha medido el caudal de agua en función de la altura manométrica total (hmt), para diferentes caudales de aire inyectado ( $0,15, 0,3, 0,45$  y  $0,6 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ ). La hmt corresponde a la presión que la bomba 112 debe proporcionar para transportar un líquido de un sitio a otro. Para hacerla variar, se ha aumentado la pérdida de carga modificando el nivel de altura de salida del agua en el depósito 53 (0 a 40 cm).

2.3. Experimentos sobre las pérdidas térmicas de la columna de depresión

Con el objetivo de estimar la pérdida térmica para la columna de depresión, se ha utilizado una resistencia calentadora que ha permitido elevar la temperatura del agua en por lo menos 5°C por encima de la del aire. No estando controlada la temperatura ambiente del aire, ésta ha variado durante el experimento. La diferencia de temperatura indicada corresponde por lo tanto a la del inicio del experimento. El cálculo de la pérdida térmica en W se ha efectuado considerando el número de calorías perdidas con respecto al volumen de agua del depósito. Se ha validado mediante el cálculo de la potencia consumida por la resistencia para calentar el mismo volumen de agua en un tiempo determinado. Sin embargo, no se ha tenido en cuenta la higrometría.

2.4 Experimentos sobre la eficacia de extracción de las micropartículas

Para estimar la capacidad de extracción de las micropartículas por la columna 1 de depresión, se ha dispuesto un "bloom" de algas procedentes de un estanque de lagunaje, para llenar 2/3 del volumen del depósito 53 con el agua del estanque. A continuación, se ha hecho funcionar la columna de depresión realizando unas extracciones de agua en el depósito a T<sub>0</sub>, T<sub>30</sub> y T<sub>60</sub> min., y en el depósito tampón 54 a T<sub>60</sub> min., de manera que se cuantifique la extracción de las microalgas.

3. Medición de los parámetros mecánicos

3.1 Caudal de agua

Los caudales de agua se han medido mediante un caudalímetro electrónico Endress Hauser Promag W, cuya medición se proporciona en l.min<sup>-1</sup> ± 10<sup>3</sup> l.min<sup>-1</sup>.

3.2 Caudal de aire

Los caudales de aire se han medido mediante un caudalímetro de bola Brook Tube Size R16-15B. La medición se proporciona en mm ± 1 mm. Esta se ha convertido a l.s<sup>-1</sup> con una curva partón.

4. Medición de los parámetros químicos

4.1 El dióxido de carbono

Existe una sonda de CO<sub>2</sub> (Carbon dioxide analyser Oxiguard) que proporciona directamente el valor en mg.l<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> (con una tolerancia de un mg.l<sup>-1</sup>), midiendo la permeabilidad luminosa de los gases en el agua mediante radiación infrarroja. Sin embargo, como el aparato es relativamente largo de utilizar, se ha realizado por lo tanto una curva patrón de la concentración en CO<sub>2</sub> en función del pH del agua de mar. Ésta se ha utilizado para conocer los valores de CO<sub>2</sub> controlando el pH en el depósito con un medidor de pH con una tolerancia de 10<sup>-2</sup> (Eutech instruments Ecospan pH 5). Los valores obtenidos con el medidor de pH al inicio y al final del experimento han sido todos validados con la sonda CO<sub>2</sub>.

4.2 El oxígeno

El oxígeno se ha medido con la ayuda de un oxímetro (Disolved oxigen meter YSI 52) que proporciona directamente el valor en mg.l<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub>, y en porcentaje de saturación en O<sub>2</sub> en el agua. Su precisión es de ± 0,1 mg.l<sup>-1</sup> o ± 0,1%.

4.3 Otros parámetros

El seguimiento de la temperatura del agua se ha efectuado con el termómetro sumergido del medidor de pH con una tolerancia de 0,1°C aproximadamente. El control de la salinidad se ha realizado con un refractómetro ATAGO a ± 1‰. Para la medición de la presión total del conjunto de los gases disueltos en el agua (nitrógeno, oxígeno, CO<sub>2</sub>, etc.), un medidor de saturación (Tensionometer 300E ALPHA DESIGN) ha proporcionado el valor con una tolerancia de un mmHg aproximadamente.

5. Medición de la cantidad de microalgas extraídas

La concentración en microalgas no se ha determinado, pero, una medición de la densidad óptica (DO) con el espectrómetro a ± 10<sup>-4</sup> (Beckman DU 640 Spectrophometer) ha permitido proporcionar un orden de magnitud de la capacidad de extracción de las microalgas.

6. Resultados

6.1 Caracterización de funcionamiento de la columna 1 de depresión

5 6.1.1 Función bomba

Los experimentos han permitido caracterizar la capacidad del "air-lift" para arrastrar el agua en el sistema. Los caudales de agua han variado en función de la cantidad de aire inyectada, de la profundidad de inyección y de la hmt. En efecto, cuanto más aire se inyecte, más aumentará el caudal de agua resultante, y cuanto más profundamente se inyecte este aire, más importante será el caudal de agua, y por último, cuanto más se aumente la hmt, más bajo será el caudal. Se han obtenido durante esta fase de experimentación unos caudales de agua máximos del orden de  $12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , mediante el simple arrastre del "air-lift" a  $0,6 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  de aire inyectado.

15 6.1.2 Función de desgaseado de la columna de depresión

El conjunto de los datos referentes a los experimentos ha permitido realizar los gráficos. Las imprecisiones y las diferencias entre los métodos de medición del  $\text{CO}_2$  son el origen de las desviaciones típicas observadas en los gráficos que se refieren al desaseado de  $\text{CO}_2$ .

20 6.1.2.1 Efecto de la profundidad de inyección sobre la extracción del  $\text{CO}_2$

El desgaseado es más eficaz cuando la inyección se realiza en profundidad, a partir de 2 metros. Sin embargo, no existe ninguna diferencia entre una inyección a 2, 3 o 4 m.

25 6.1.2.2 Efecto del caudal de agua sobre la extracción del  $\text{CO}_2$

El caudal de agua tiene un efecto sobre la eficacia del desgaseado. En efecto, cuanto más importante sea el caudal, más eficaz será el desgaseado hasta alcanzar un equilibrio hacia  $2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ ; La eficacia del desgaseado máximo parece situarse cuando el caudal de agua es de aproximadamente  $2,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  para  $0,55 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  de aire inyectado, lo cual corresponde a una relación agua/aire de aproximadamente 5.

30 6.1.2.3 Efecto del caudal de aire sobre la extracción del  $\text{CO}_2$

La cantidad de aire inyectada tiene efectivamente un efecto sobre el efecto del desgaseado. Al igual que para el caudal de agua, la extracción del  $\text{CO}_2$  aumentará con el caudal de aire, pero su eficacia de desgaseado disminuirá puesto que se alcanza una constante. La constante alcanzada hacia  $0,4 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  de aire inyectado para  $2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  de agua circulante corresponde por lo tanto a una relación agua/aire de 5.

35 40 6.1.3 Función espumosa de la columna de depresión

El experimento ha demostrado que en una hora de funcionamiento, la densidad óptica del agua del depósito llenado hasta los 2/3 con agua muy concentrada en microalgas disminuyó en la mitad. El concentrado extraído mediante la aspiración de la espuma es 120 veces más turbia que el agua del depósito 53 al final del experimento.

45 7. Discusión

7.1 Función de bomba de la columna de depresión

50 Numerosos estudios han desarrollado unas descripciones empíricas y teóricas del arrastre del agua para diferentes "air-lift". Sin embargo, las características de los gaso-sifones dependen de las configuraciones específicas para cada sistema, como las condiciones de entrada del aire y el tipo de inyector utilizado. Para el air-lift ensayado en este caso, la cantidad de agua arrastrada aumentó lógicamente con la inyección de aire y la profundidad, y disminuyó con la altura manométrica total.

55 Sin embargo, es importante señalar que se han obtenido unos caudales de agua muy inesperados puesto que eran hasta seis veces superiores al caudal de aire inyectado. Estos resultados son interesantes y se pueden explicar por la depresión en la columna ensayada.

60 7.2 Optimización de la columna de depresión

7.2.1 Elección de la profundidad de inyección del aire

Los resultados del experimento muestran que la profundidad óptima de inyección de aire para un desgaseado eficaz se sitúa a partir de 2 m. Sin embargo, si se desea al mismo tiempo obtener un caudal de agua consecuente sin utilizar más energía, es preciso trabajar en profundidades de inyecciones más importantes para obtener un caudal de agua más elevado. Se propone por lo tanto inyectar el aire en la columna a 3 o 4 m de profundidad. Esto

permitiría obtener un caudal de agua que puede alcanzar más de  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , que podría ser utilizado para otras funciones sin tener que bombear el agua.

### 7.2.2 Elección del caudal de agua

Cuando se trabaja con caudales débiles de agua, el tiempo de estancia en la columna es largo, y el desgaseado en  $\text{CO}_2$  más importante, ya que se reduce el volumen de agua circulante con respecto al volumen de aire pasado y a la inversa. Sin embargo, si se interesa, no en el desgaseado instantáneo, sino en el desgaseado de un volumen en un tiempo determinado, se ha mostrado que el mejor desgaseado se situaba para un caudal de aproximadamente  $2,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ , cuando la inyección de aire fijo es de  $0,55 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ . Más allá, la eficacia de desgaseado ya no aumenta y parece incluso disminuir. En efecto, con  $2,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ , se obtiene el mejor compromiso entre el tiempo de estancia del agua en la columna y el tiempo de renovación del agua del depósito, mediante un ratio agua/aire de aproximadamente 5.

### 7.2.3 Elección del caudal de aire

Se ha mostrado que cuanto más aire se inyecta, más aumenta el desgaseado, hasta alcanzar una constante cuando el caudal de aire es de  $0,4 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ , para un caudal de agua fijo de  $2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ . La eficacia de desgaseado disminuye con el aumento de la inyección de aire. El caudal de aire de  $0,4 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  para un caudal de agua fijo es de  $2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ , ya que se ha mostrado anteriormente que se trataba del mejor compromiso entre el tiempo de estancia del agua en la columna y el tiempo de renovación del agua del depósito para un ratio parecido, es decir con un caudal de aire de  $0,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Sin embargo, haciendo variar el caudal de aire, se hace variar asimismo el consumo energético. Ahora bien, funcionar con unos caudales de aire más bajos permite aumentar considerablemente el rendimiento energético de desgaseado. El rendimiento de extracción del  $\text{CO}_2$  por  $\text{kW} \cdot \text{h}^{-1}$  es más eficaz con inyecciones de aire muy bajas. Esto significa que, en teoría, si se desea reducir mucho los costes energéticos, es mejor funcionar con un bajo caudal de aire, incluso si el desgaseado en  $\text{CO}_2$  es menos eficaz, pero suficiente para la seguridad del organismo vivo. Sin embargo, funcionar con un bajo caudal de aire no permite que el "air-lift" proporcione unos caudales de agua de  $2,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Se plantean por lo tanto varias posibilidades en cuanto a la elección de la cantidad de aire a inyectar, teniendo al mismo tiempo un caudal de agua suficientemente importante:

- o bien se utiliza una columna de depresión haciéndola funcionar con un ratio agua/aire de 5. La eficacia de desgaseado será óptima, pero costosa en energía;
- o bien, en una preocupación de ahorro de energía, se utilizan dos columnas de depresión que funcionan con una inyección de aire muy baja ( $0,03 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ ), pero que permiten obtener un caudal de agua de  $2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ , sumando sus caudales de agua ( $0,96 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ ). El coste energético será aproximadamente 30% más bajo que con una sola columna de depresión que proporciona un caudal de agua de  $2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ , a pesar de sus limitaciones de espacio y de mantenimiento suplementarios.

Una última posibilidad, probablemente más económica, consistiría por último en modificar la geometría de la columna. En efecto, aumentando la sección del tubo interno 3 de la columna, el caudal de agua será superior a aquél para la misma inyección de aire y por lo tanto para el mismo coste energético.

### 7.2.4 La función espumador

Al mismo tiempo que retira el  $\text{CO}_2$  del agua, la columna de depresión es capaz de funcionar muy eficazmente como espumador para las micropartículas y en particular para las microalgas. Al cabo de una hora, la columna ha sido capaz de retirar aproximadamente la mitad de las algas presentes en el depósito. Estos resultados obtenidos son inesperados.

En efecto, hoy en día, se estima que el 80% del consumo en  $\text{O}_2$  de los filtros biológicos se utiliza para la degradación de la materia carbonada particulada, y sólo el 20% sirve para tratar las materias nitrogenadas. Retirando esta materia particulada, los filtros biológicos servirían por lo tanto principalmente para tratar la materia nitrogenada, y se podría así no sólo reducir su tamaño en 80%, sino también economizar a nivel de la adición de  $\text{O}_2$  en el circuito reciclado.

Además, dado que el tamaño de los huevos de parásitos ( $50 \mu\text{m}$ ) es superior al de las microalgas ( $2 \mu\text{m}$ ), si la columna puede retirar las microalgas, puede retirar asimismo los huevos de parásitos. Esto es muy interesante para eliminar cualquier forma de parasitismo en los criaderos.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de tratamiento de un efluente acuoso (16) que comprende por lo menos un compuesto gaseoso disuelto, por ejemplo gas carbónico, que consiste en separar por lo menos parcialmente dicho compuesto de dicho efluente, con vistas a obtener una fase acuosa tratada, empobrecida en dicho compuesto, procedimiento según el cual:
- (a) se establece una columna líquida ascendente (6) del efluente acuoso, inyectando y distribuyendo (10) en dicha columna, por el lado bajo, una fase gaseosa menos rica en dicho compuesto que el efluente acuoso, por ejemplo, aire u oxígeno, repartiéndose dicha fase gaseosa en dicha columna en forma de burbujas cuyo volumen aumenta hacia arriba, mediante lo cual se obtiene, por el lado alto, una corriente mixta (18) líquido/gas,
- (b) se separa la corriente mixta líquido/gas, en una corriente líquida (17) que constituye la fase acuosa tratada y una corriente gaseosa (19) efluente enriquecida en dicho compuesto gaseoso, constituyendo la corriente líquida (17) separada de la corriente gaseosa efluente (19) una columna líquida descendente (7), obtenida mediante vertido de la corriente mixta (18) líquido/gas por encima de un punto alto (3a), caracterizado porque se separa bajo depresión la corriente mixta (18) líquido/gas, por encima de un punto alto (3a), caracterizado porque se separa bajo depresión la corriente mixta (18) líquido/gas, estableciendo un cielo gaseoso (20) entre la corriente líquida y la corriente gaseosa y aspirando (12) esta última por medio de una bomba de vacío (12).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la columna líquida descendente (7) y la columna líquida ascendente (6) son concéntricas una con respecto a la otra.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la columna líquida ascendente (6) es interior y la columna líquida descendente (7) exterior, o a la inversa.
4. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el efluente acuoso (16) se introduce al pie de la columna ascendente (6), y la fase acuosa es extraída al pie de la columna descendente (7), sustancialmente al mismo nivel.
5. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque se inyecta oxígeno y se distribuye en la columna ascendente (6), a un nivel superior al nivel de introducción de la fase gaseosa.
6. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la sección de la columna descendente (7) crece hacia abajo.
7. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque se inyecta ozono (22) y se distribuye en la columna descendente (7), a un nivel inferior al nivel de introducción (10) de la fase gaseosa.
8. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la corriente gaseosa (19) efluente, en forma de espuma, se separa (23) en un exudado líquido (24), que comprende una fracción particulada, evacuado (25) y un efluente gaseoso (26), aspirado (12).
9. Procedimiento de cultivo de un organismo vivo en medio acuoso recirculado, según el cual:
- se dispone de un baño (13) del medio acuoso, en el que se cultiva el organismo vivo,
  - se extrae del baño una corriente efluente (15), a partir de la cual se obtiene el efluente acuoso (16),
  - y se alimenta el baño con una corriente de alimentación, obtenida a partir de la fase acuosa tratada, siendo la fase acuosa tratada obtenida fuera del baño a partir del efluente acuoso, de acuerdo con el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado porque el nivel de extracción (13a) del baño (13) es sustancialmente el mismo que el del pie de la columna ascendente (6).
11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado porque el nivel de alimentación (13b) del baño (13) está por encima del pie de la columna descendente (7).
12. Procedimiento de acuicultura según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11.
13. Instalación (1) para la realización del procedimiento según la reivindicación 1, caracterizada porque comprende:
- dos tubos concéntricos, uno exterior (2) y el otro interior (3), dispuestos verticalmente, disponiendo un recinto

## ES 2 385 363 T3

tubular interno (4) para la columna ascendente (6) o la columna descendente (7), y un recinto tubular externo (5) para la columna descendente (7) o la columna ascendente (6); estando el tubo exterior (2) cerrado (2a) en su parte superior, por encima del extremo superior (3a) del tubo interior (3),

- 5 - un medio de introducción (8) del efluente acuoso (16) al pie del recinto interno (4) o del recinto externo (5); un medio de evacuación (9) de la fase acuosa tratada al pie del recinto externo (5) o del recinto interno (4),
- un medio de inyección (10) situado por el lado bajo del recinto tubular interno (4) o del recinto externo (5) y de distribución de la fase gaseosa en la columna ascendente (6), conectado a una fuente de dicha fase gaseosa bajo presión,
- 10 - un medio de evacuación (11) de la corriente gaseosa efluente, conectado a un medio de aspiración (12) de esta última en forma de una bomba de vacío.

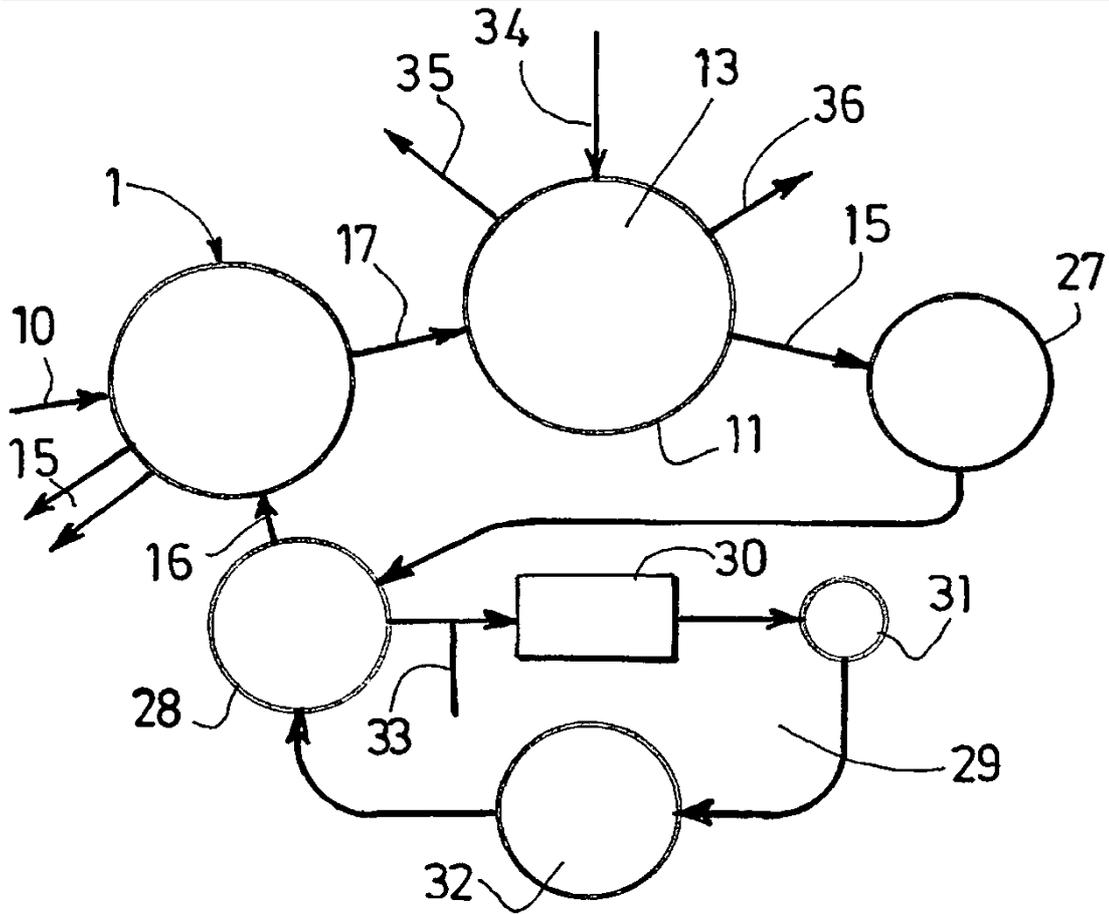


FIG.1

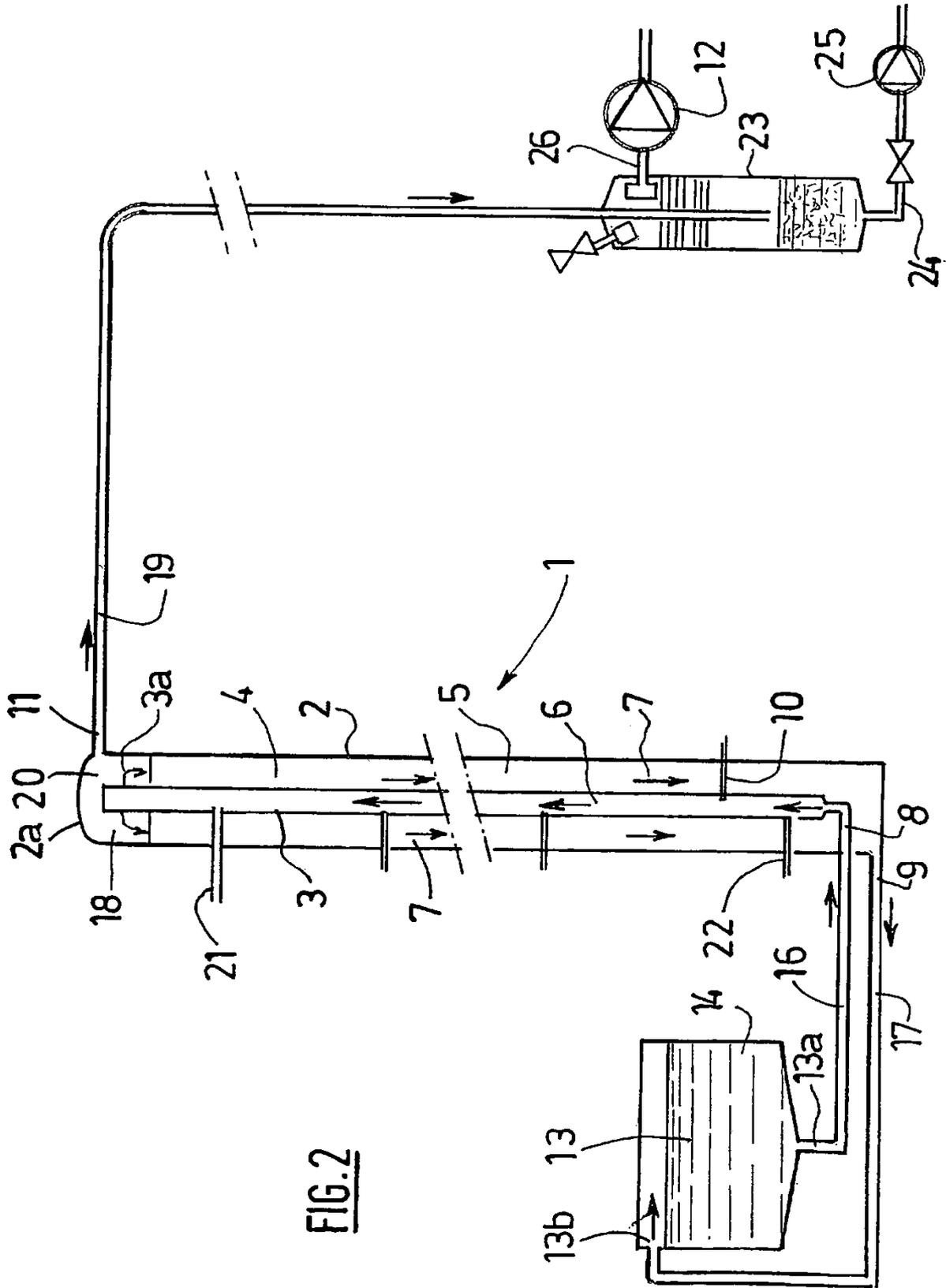


FIG. 2

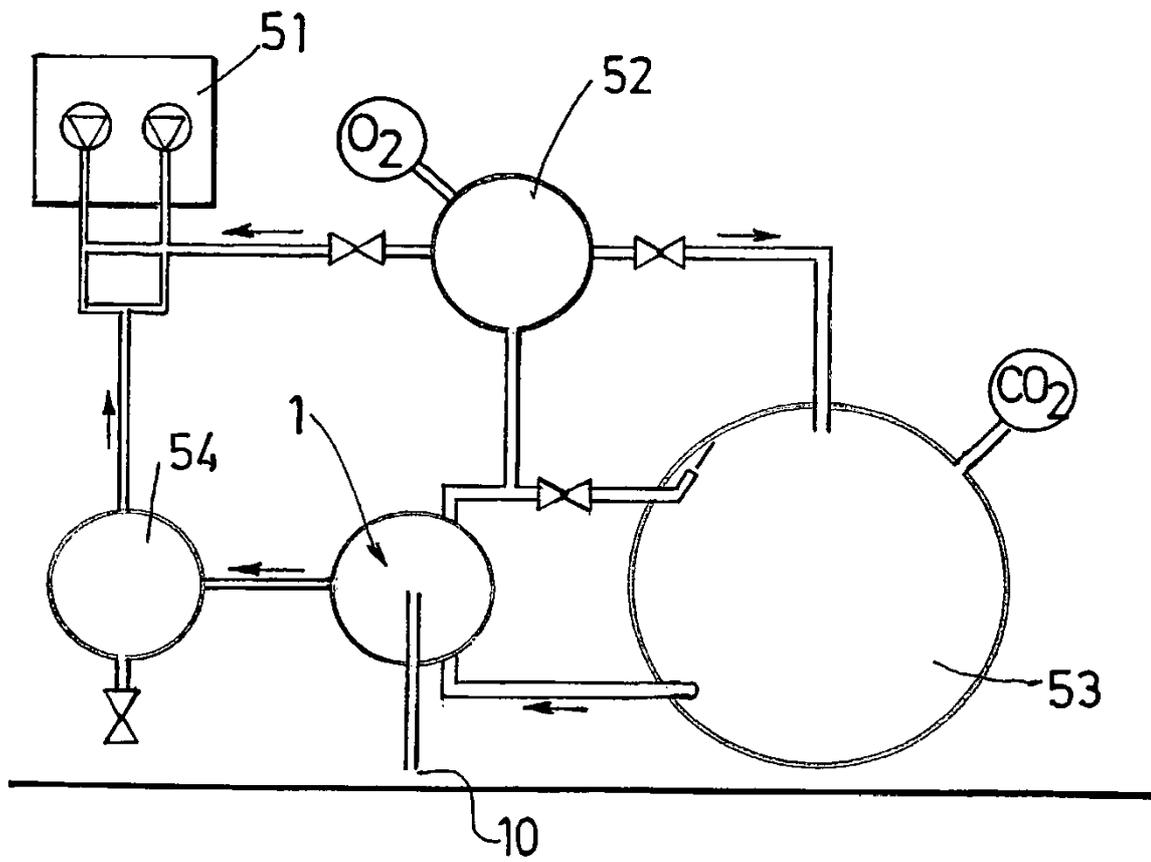


FIG.3